

COMPARACIÓN EN PRESIÓN RELATIVA NEUMÁTICA HASTA 34,5 MPa ENTRE CENAM/MÉXICO-ENAER/CHILE

Torres Guzmán J., Aranzolo Suárez J., Palma Carrasco J.*, Argandoña R.*,
Centro Nacional de Metrología, km 4,5 carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México
Teléfono (52) 442 211 0572, fax (52) 442 211 0578, e-mail: jtorres@cenam.mx
*Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales (LCPN-PRESIÓN), Chile.
Empresa Nacional de Aeronáutica - ENAER, Av. José Miguel Carrera n°11087.
Teléfono (56) 2 383 1825, fax (56) 2 528 2686, e-mail lcpnpress@enaer.cl

Resumen: Esta constituye la primera comparación en la magnitud de presión entre CENAM México y el Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales de Presión en Chile (con la Empresa Nacional de Aeronáutica – ENAER, designada oficialmente el laboratorio custodio del patrón nacional).

Se utilizó como patrón de comparación un calibrador digital con alcance de medición de 345 bar, clase de exactitud de 0,05% del alcance de medición y una resolución de 0,05 bar. El instrumento fue facilitado por ENAER y la actividad se realizó dentro del marco de cooperación del Physikalisch - Technische Bundesanstalt, PTB de Alemania, con el Instituto Nacional de Normalización - INN de Chile.

En este documento se presentan los resultados de la comparación.

1. INTRODUCCION

Las comparaciones entre Institutos Nacionales de Metrología (INM), permiten asegurar equivalencia de las mediciones entre los países y la diseminación correcta de la magnitud. Esto fortalece la solidez y la confianza, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, de los sistemas de medición. En esta comparación, se realizó la calibración de un manómetro eléctrico de alta exactitud. Se utilizó un procedimiento con 3 ciclos, midiendo 5 presiones en ascenso y descenso, del 0 al 100% del alcance de medición; midiendo en total cada presión 6 veces.

Los resultados que aquí se presentan corresponden a la primera comparación de laboratorios nacionales entre México (Centro Nacional Metrología, CENAM) y Chile (con ENAER designado oficialmente laboratorio custodio del patrón nacional). La comparación se llevó a cabo dentro del marco de la Cooperación Técnica entre el Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB y el Instituto Nacional de Normalización - INN de Chile.

2. OBJETIVO

Realizar una comparación en la magnitud de presión (relativa neumática), en el alcance de medición de hasta 34,5 MPa entre los laboratorios metrológicos nacionales de los países de México (CENAM) y Chile (ENAER), con el fin de estimar los niveles de concordancia en las mediciones, incluyendo desviación e incertidumbre [1, 2].

3. DATOS GENERALES

3.1 Laboratorios participantes

Para esta comparación, los dos laboratorios participantes utilizaron balanzas de presión (balanzas de pesos muertos) de alta clase de exactitud con ensamble pistón-cilindro del tipo simple, ver *Tabla 1*.

Laboratorio	Área efectiva pistón - cilindro (m ²)	Gravedad local (ms ⁻²)	Alcance de medición	U relativa a la lectura (k=2)
Empresa Nacional Aeronáutica de Chile, ENAER. Chile.	1,96·10 ⁻⁵	9,794 4	50 MPa	5·10 ⁻⁵
Centro Nacional de Metrología, CENAM. México.	9,805 18·10 ⁻⁶	9,780 845	100 MPa	3,1·10 ⁻⁵

Tabla 1. Laboratorios participantes y sus patrones.

3.2 Patrón de comparación

Como patrón de comparación se utilizó un calibrador digital de presión (manómetro eléctrico). Este manómetro digital fue facilitado por ENAER.

Las características del patrón de comparación se presentan en la *Tabla 2*.

Tipo de Instrumento :	Calibrador digital de presión (Transductor-Indicador)
Alcance de medición:	345 bar
Unidad de medición:	Bar
Resolución:	0,05 bar
Clase de exactitud:	0,05% del alcance total.
Marca del transductor:	OMEGA
Modelo y número de identificación:	PCL-3000-4 Número de serie A25197

Tabla 2. Patrón de comparación.

3.3 Programa de la comparación

La comparación se realizó en cuatro etapas:

- a) Preparación. ENAER realizó mediciones previas. ENAER estableció los lineamientos generales de la comparación con la participación y asesoría del CENAM [3, 4, 5].
- b) CENAM realizó las mediciones correspondientes de acuerdo a las fechas programadas. CENAM establece la documentación base [5, 6] y actividades a realizar [7].
- c) ENAER ejecutó la segunda ronda de medición en el instrumento empleado para la comparación, de acuerdo al procedimiento establecido por CENAM para la comparación, ver *Figura 1*.
- d) Presentación de los resultados obtenidos a través de la emisión de informe de ENAER a CENAM para análisis de resultados y conclusiones de la comparación, así como discusión y aceptación de estos.

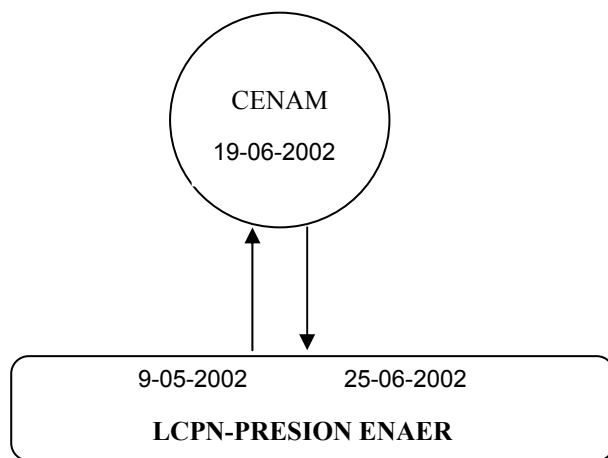
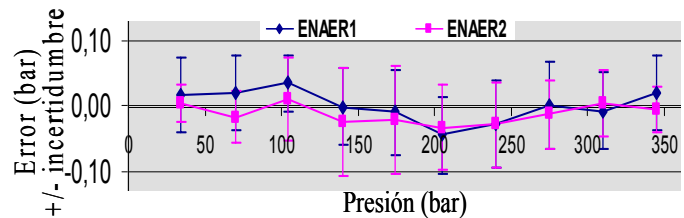


Figura 1. Rondas de la Comparación.

4. RESULTADOS

4.1 Comportamiento del patrón de comparación

El laboratorio de ENAER realizó un estudio de la deriva del patrón de comparación calibrándolo en 2 ocasiones. Los datos obtenidos se presentan gráficamente y se encuentran rotulados como ENA1, ENA2. La medición uno (1) se realizó al inicio de la comparación, mayo 9 del año 2002; la medición dos (2) al término del ejercicio de comparación bilateral, junio 25 del mismo año.



Gráfica 1. Error, *E*, e incertidumbre expandida, *U* ($k=2$, 95%). ENAER, Laboratorio LCPN-P de Chile.

4.2 Datos de las mediciones

En la *Tabla 3*, se presentan los datos de la comparación para los valores del error *E*, y en la *Tabla 4* se encuentran las incertidumbres de medición para los diferentes puntos de presión nominal, encontrados por los laboratorios.

bar	CENAM	ENAER
70	-0,0189	0,0030
140	-0,0233	-0,0126
205	-0,0397	-0,0383
275	-0,0174	-0,0051
345	0,0308	0,0079

Tabla 3. Error, *E*, obtenido en cada punto.

bar	CENAM	ENAER
70	0,0646	0,0494
140	0,0778	0,0705
205	0,0710	0,0616
275	0,0601	0,0600
345	0,0422	0,0470

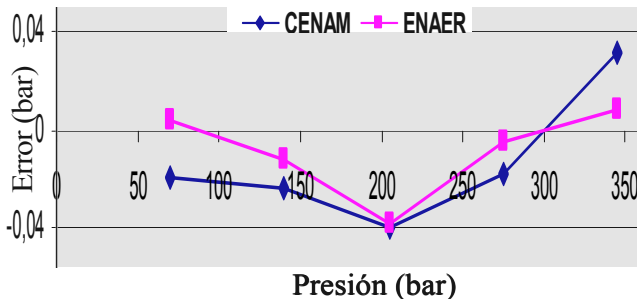
Tabla 4. Datos de la incertidumbre expandida, *U*.

Los valores que en el resto de este documento se usan para representar los resultados obtenidos por ENAER, para el error y la incertidumbre combinada, son el promedio de las lecturas realizadas en el laboratorio de ENAER en las dos diferentes fechas, obtenidos de acuerdo a las ecuaciones siguientes.

$$E_{Enaer} = (ENAI + ENA2) / 2 \quad (1)$$

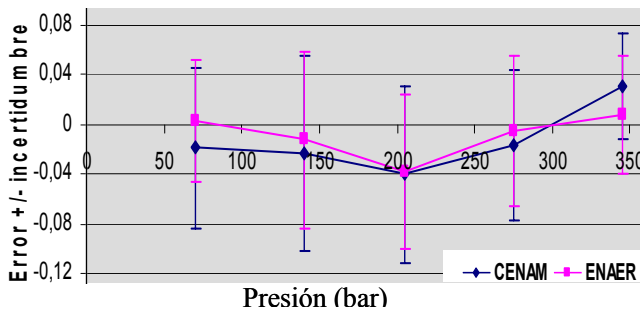
$$U_{Enaer} = (U_{ENAI} + U_{ENA2}) / 2 \quad (2)$$

La *Gráfica 2* muestra las curvas del error del patrón de comparación obtenido por cada uno de los laboratorios participantes.



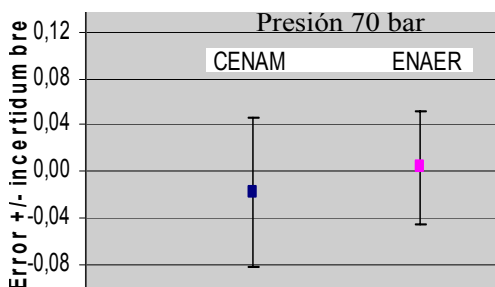
Gráfica 2. Curvas de error, *E*, obtenidas por los 2 laboratorios para el patrón de comparación.

En la *Gráfica 3* se registran los errores de la *Gráfica 2* y se incluye la incertidumbre expandida asignada por cada laboratorio en la calibración del patrón de comparación.

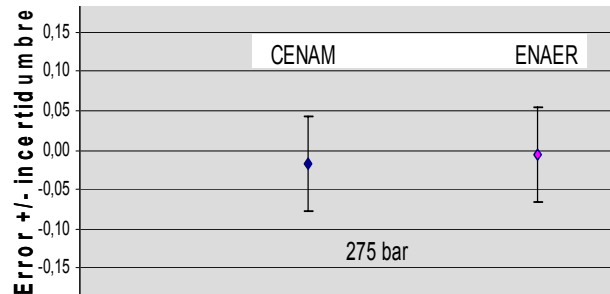


Gráfica 3. Datos de error, *E*, con incertidumbre expandida, *U*, obtenidas por los laboratorios.

Las *Gráficas 4* y *5* muestran los casos en donde se obtuvo la mayor concordancia y la mayor desviación entre los resultados de los laboratorios, de acuerdo a los datos presentados en las *Tablas 3* y *4*.



Gráfica 4. Error *E*, con incertidumbre expandida, *U*, en el punto de medición con mayor desviación.



Gráfica 5. Error *E*, con incertidumbre expandida, *U*, en el punto de medición con menor desviación.

5. DISCUSIÓN

5.1 Valores de referencia

Los valores de error e incertidumbre de referencia, E_{ref} y U_{ref} , con los cuales se comparan los resultados obtenidos por los laboratorios participantes se definen en las siguientes ecuaciones. Considerando que los dos laboratorios son de alta exactitud, para la definición del valor de error de referencia se utilizó la siguiente ecuación.

$$E_{ref} = (E_{ENAER} + E_{CENAM}) / 2 \quad (3)$$

Para la definición del valor de referencia de la incertidumbre, U_{ref} , se tomaron consideraciones similares, por lo que la ecuación utilizada fue:

$$U_{ref} = \sqrt{U_{ENAER}^2 + U_{CENAM}^2 + U_{deriva}^2} \quad (4)$$

Donde U_{deriva} es la incertidumbre debida a la deriva del patrón de comparación y se calcula de:

$$U_{deriva} = s / N^{1/2} \quad (5)$$

s = Desviación estándar experimental de los errores obtenidos en las dos calibraciones realizadas por LCPN-P, ENAER Chile, en el punto de mayor desviación.

N = Número de mediciones realizadas por ENAER (2).

5.2 Desempeño de los laboratorios

Los resultados obtenidos por los laboratorios se analizaron mediante el criterio del error normalizado, E_n . El método de error normalizado es ampliamente conocido y ha sido utilizado en otras comparaciones de presión dando resultados adecuados para los

finés intencionados, ver por ejemplo referencias [8, 9, 10].

El error normalizado se calcula mediante la fórmula que se da a continuación. Ésta se aplica para cada punto de medición examinado, de cada laboratorio, considerando el valor de referencia de acuerdo a la definición anterior.

$$E_n = (E_{lab} - E_{ref}) / \sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2} \quad (6)$$

E_n = Error normalizado.

E_{lab} = Error de la medición que obtiene el laboratorio participante.

E_{ref} = Error de referencia de la medición.

U_{lab} = Incertidumbre expandida ($k=2$) de la medición del laboratorio participante.

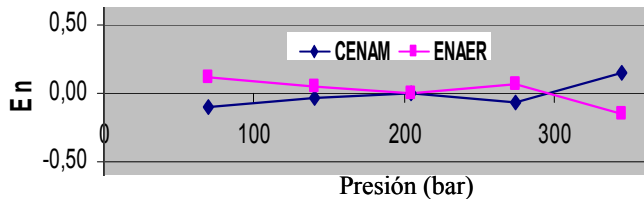
U_{ref} = Incertidumbre expandida ($k=2$) de referencia de la medición.

Al utilizar este criterio para la comparación, el valor absoluto del error normalizado E_n , debe ser menor a uno para considerar que existe compatibilidad de mediciones entre los laboratorios [11, 12]. El conjunto de los errores normalizados E_n , de ambos participantes y de todos los puntos de medición están en la *Tabla 5* siguiente.

PRESIÓN bar	CENAM	ENAER
70	-0,1015	0,1109
140	-0,0406	0,0419
205	-0,0059	0,0061
275	-0,0589	0,0589
345	0,1500	-0,1447

Tabla 5. Datos del error normalizado de los laboratorios participantes.

La *Gráfica 6* es una presentación esquemática de los errores normalizados, E_n , de los laboratorios participantes.



Gráfica 6. Curvas del error normalizado de los laboratorios participantes.

6. CONCLUSIONES

De los resultados que obtuvo el laboratorio piloto en las dos calibraciones realizadas, se puede observar:

- 1) Las calibraciones realizadas durante el periodo de la comparación, muestran una buena estabilidad del instrumento a corto plazo. Esto se puede ver claramente en la *Gráfica 1*, curvas ENA1 y ENA2, donde las dos calibraciones mencionadas se realizaron en diferentes fechas con pequeñas variaciones de presión atmosférica y de humedad. Los resultados de estas calibraciones muestran la transparencia del instrumento utilizado como patrón de comparación a estos efectos y la confiabilidad en la estabilidad del mismo para los fines de esta comparación.
- 2) Las mismas calibraciones realizadas por ENAER permiten estimar la deriva del patrón de comparación. La *Gráfica 1*, muestra la deriva del patrón, la cual se presenta como una disminución de la lectura del patrón de comparación con respecto al tiempo, en términos generales casi en todo el alcance de medición. Calculando la deriva máxima, en las dos mediciones en 0,027 bar, se presenta un error máximo del 0,008% de la escala total del instrumento. Esta cifra es 15,7 veces menor que la exactitud declarada para el instrumento, siendo por lo tanto, adecuado para los fines de esta comparación.

El uso de una hoja de cálculo permite unificar la evaluación de errores e incertidumbres, al mismo tiempo que se asegura que las lecturas obtenidas sean comparables y en condiciones similares para los laboratorios participantes (en este caso se usó el *Formato 1* [6], basado en la guía DKD-R 6-1).

Ambos laboratorios declararon conformidad en la clase de exactitud del manómetro calibrado (0,05% del alcance máximo de medición) o patrón de comparación.

Los resultados obtenidos en esta comparación muestran concordancia entre las mediciones de los laboratorios y dentro de los límites establecidos como satisfactorios para el uso de la ecuación del error normalizado.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al departamento de Cooperación Técnica para América Latina del PTB de Alemania por el apoyo financiero otorgado al ENAER para realizar esta comparación.

REFERENCIAS

- [1] Guide to the Expression of uncertainty in measurement ISO TAG 4 WG3. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML; 1995.
- [2] The International System of Units. Bureau International des poids et mesures 7^oedition, 1998. ISBN 92-822-2154-7.
- [3] Torres Guzmán J. C., Comparaciones de Patrones de Medición, IV Congreso Internacional y XVI Nacional de Metrología y Normalización. Guadalajara. Octubre 2000.
- [4] Torres Guzmán J. C., Guía y Lineamientos Generales para Comparaciones de Patrones de Medición, Memorias del Segundo Congreso Internacional Metrocal. Chile. 2001.
- [5] Lineamientos generales y procedimiento de la comparación CENAM-LCPN-P ENAER. Chile Mayo 2002.
- [6] Torres Guzmán J. C. Formato 1: Hoja de Cálculo. Toma de datos y evaluación. Archivo Excel. División de Fuerza y Presión del CENAM, México.
- [7] Torres Guzmán J. C. Procedimiento para la calibración del manómetro eléctrico de la comparación CENAM-LCPN-P. División de Metrología de Fuerza y Presión del CENAM, México.
- [8] Torres Guzmán J. C., Soriano Cardona J. B., Jöger J., Pressure Standards Comparison between Germany and Mexico (Primary and Secondary Laboratories). NCSL International, Workshop and Symposium 2002, 6E Pressure III. San Diego, USA. Agosto 2002.
- [9] Idrovo Calderón R., Neira Catalina, Torres Guzmán J. C., Comparación de Patrones de Presión en el SIM/ANDIMET. Simposio de Metrología 2002. México. 2002.
- [10] Torres Guzmán J. C., Soriano Cardona B., Couto P. R., Pressure Standards Comparison Within the Interamerican Metrology System (SIM), up to 100 MPa. NCSL International, Workshop and Symposium 3D National & International Comparisons. USA. 2001.
- [11] Documento Número 8. Noramet. 1998.
- [12] EAL-P7, EAL Interlaboratory Comparisons. 1996.